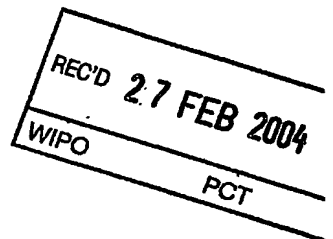


#2  
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 56 877.4

**Anmeldetag:**

4. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Leybold Optics GmbH, 63755 Alzenau/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Herstellung dünner Schichten und  
Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

**IPC:**

C 23 C, C 03 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Januar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

**BEST AVAILABLE COPY**

Hintermeier



## **Verfahren zur Herstellung dünner Schichten und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung dünner Schichten sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Zur Herstellung dünner Schichten sind verschiedenste Verfahren aus dem Bereich physikalischer und chemischer Abscheidungsverfahren bekannt. Abhängig von den gewünschten Eigenschaften der abzuschcheidenden Schicht und des gewählten Materialsystems werden unterschiedliche Verfahren bevorzugt. So wird zur Abscheidung von dünnen Schichten häufig die sogenannte Physical Vapour Deposition, wie etwa Aufdampf- oder Sputtertechniken, herangezogen.

Aus der DE 42 36 264 C1 ist ein plasmagestütztes Elektronenstrahlbedampfen bekannt, bei dem ein Oxid mit sehr hoher Rate mittels eines Elektronenstrahlverdampfers verdampft und auf einem Substrat abgeschieden werden kann. Beim Verdampfen dissoziiert jedoch das Oxid so, dass Sauerstoff verloren geht und nicht mehr zur Oxidbildung in der aufwachsenden Schicht zur Verfügung steht. Zwischen Substrat und Verdampfungsquelle befindet sich daher ein Plasmaraum mit einem Sauerstoffplasma, in dem der Dampf auf dem Weg zum Substrat angeregt wird, so dass sich auf dem Substrat ein stöchiometrisches Oxid niederschlagen kann. Je nach Materialsystem gelingt die Abscheidung eines stöchiometrischen Oxids, indem entweder der Partialdruck des Reaktivgases oder die Plasmaparameter während der Beschichtung geregelt werden. Dabei sind die Zusammenhänge sehr komplex und von einem Materialsystem auf ein anderes kaum übertragbar. Eine Variation einzelner Verfahrensparameter führt bei verschiedenen Materialsystemen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Optimierte Abscheidungsparameter für z.B. Aluminiumoxid führen nicht zu optimalen Ergebnissen z.B. bei Siliziumoxid. Darüber hinaus zeigen sich auch innerhalb ein und desselben Materialsystems Langzeitdriften verschiedener, nicht getrennt erfassbarer Verdampfungsparameter, die zu unerwünschten Änderungen der Eigenschaften der

25.11.2002  
bmp/rd

abgeschiedenen Schichten führen und die Reproduzierbarkeit eines eingefahrenen Beschichtungsprozesses zusätzlich erschweren.

Insbesondere für Materialien mit hohem Schmelzpunkt ist die Methode der Kathodenzerstäubung (Sputtern) vorteilhaft, bei der in einem Vakuumbereich, der deutlich über einem typischen Restgasdruck für ein Aufdampfverfahren liegt, durch Einwirken eines elektrischen Feldes ein Plasma gezündet wird, aus dem Ionen auf ein auf hohem elektrischen Kathodenpotential liegendes Target beschleunigt werden und diese Ionen Atome aus dem Target heraus schlagen, welche sich sodann auf den Wänden der Vakuumkammer und auf einem zum Target beabstandeten, üblicherweise auf Masse oder einer geringen Blasspannung liegenden Substrat niederschlagen. Ein Erhitzen der Materialquelle ist dabei nicht notwendig, vielmehr wird das Target beim Prozess gekühlt. Dabei resultiert ein Restgasdruck üblicherweise überwiegend aus einem Inertgas wie etwa Argon, welches keine störenden Einflüsse auf die sich auf dem Substrat bildende Schicht zeigt. Zur Abscheidung von Verbindungen wie Nitride, Carbide oder Oxide oder dergleichen können dem Sputtergas zusätzlich entsprechende Reaktivgase beigemischt werden.

Das Substrat wird üblicherweise ausserhalb der Plasmazone angeordnet, um eine Schädigung der frisch aufwachsenden Schicht durch Bestrahlung aus dem Plasma oder Rücksputtereffekte zu vermeiden. Die mittlere freie Weglänge der Ionen muss gross genug sein, um mit ausreichender kinetischer Energie, d.h. mit möglichst wenig Störungen durch weitere Stossprozesse im Restgas, auf das Target zu gelangen und andererseits die zerstäubten Atome auf das Substrat gelangen zu lassen, was den möglichen Restgasdruck nach oben begrenzt. Andererseits muss der Druck hoch genug sein, um überhaupt ein stabiles Plasma zünden zu können. Durch magnetfeldunterstütztes Kathodenzerstäuben gelingt es, am Target eine erhöhte Elektronendichte zu erzeugen, die in einer hohen Plasmadichte am Target und daher in einer stark erhöhten Zerstäubungsrate resultiert.

Durch Zufügen reaktiver Anteile, insbesondere Sauerstoff, zum Inertgas können auch Oxide hergestellt werden. Ein solches reaktives Zerstäubungsverfahren ist z.B. aus der WO 01/73151 A1 bekannt. Dort wird der Sauerstoffpartialdruck beim Sputtern des Oxids mittels einer Lambda-Sonde geregelt, damit sich in der aufwachsenden Schicht ein stöchiometrisches Oxid bilden kann. Allerdings reagiert auch das Target mit dem Reaktivgas, so dass konkurrierende Verfahren, nämlich Abtrag einerseits und eine die

25.11.2002  
bmp/rd

Abtragung hemmende Oxidbildung an der Targetoberfläche ablaufen. Dies hat wiederum Rückwirkungen auf die elektrischen Potentiale in der Beschichtungskammer, die Plasmabildung und dergleichen. Ebenso bilden die sich auf den inneren Oberflächen der Vakuumkammer abscheidenden Schichten des zerstäubten Materials Getterflächen, welche z.B. Sauerstoff als Reaktivkomponente binden und so zu einer gegenseitigen, schwer vorhersagbaren Abhängigkeit verschiedenster Verfahrensparameter führt. Auch hier ist also der Zusammenhang zwischen den Beschichtungsparametern sehr komplex. Häufig kommt es dabei zu gegenseitiger Beeinflussung, wenn ein einzelner Beschichtungsparameter verändert wird. Je nach abzuscheidendem Schichtmaterial ist es daher notwendig, die Beschichtungsverfahren und die Beschichtungsparameter individuell aufeinander abzustimmen. Dies gilt umso mehr, je komplexer ein abzuscheidendes Schichtsystem ist, etwa bei der Abscheidung von Multischichten mit speziellen Funktionseigenschaften, insbesondere optischen Funktionsschichten. Die erwähnten Probleme sind besonders stark ausgeprägt bei dem sogenannten reaktiven DC-Magnetron-Sputtering von metallischen Verbindungen, bei dem die Forderung nach einer Verbindung auf der Substratoberfläche bei gleichzeitiger metallischer Targetoberfläche nur mit hohem Aufwand erreichbar ist. Zur Herstellung von isolierenden Schichten, wie z. B.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und dergleichen sind daher bereits auch Verfahren entwickelt worden, bei denen mittels jeweils zwei Magnetron-Sputterkathoden, die von einer Wechselstromquelle gespeist werden, zwei Targets alternierend eingesetzt werden. Die Polaritäten der Targetpotentiale ändern sich üblicherweise im KHz Bereich, d.h. jede Elektrode ist abwechselnd Kathode und Anode. Dies führt zu einem definierten Ladungstransport zwischen Kathode und Anode ohne hemmenden Einfluss einer Oxidschicht an den Targetoberflächen, im Gegensatz zum störenden Effekt der sogenannten "disappearing anode" beim reaktiven DC-Magnetron-Sputtering. Ein effizienter Betrieb setzt dabei jedoch voraus, dass in dem sogenannten Übergangsbereich gearbeitet wird, da ansonsten die Oxidbildung an der Targetoberfläche schneller als die Abtragsrate ist.

Aus der EP 0 795 623 A1 ist eine Vorrichtung zum Aufbringen dünner Titanoxidschichten mittels reaktiver Kathodenzerstäubung bekannt. Dabei wird die Stromversorgung der Kathode durch ein Signal eines  $\lambda$ -Sonden-Messfühlers, der den Anteil von Sauerstoff in der Vakuumkammer mit einem Referenzgas vergleicht, geregelt. Das Verfahren eignet sich besonders zur langzeitstabilen Abscheidung von Oxiden, die möglichst homogen und mit gleichbleibender Zusammensetzung hergestellt werden sollen.

25.11.2002  
bmp/rd

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung dünner Schichten anzugeben, mit dem zuverlässig in situ die Zusammensetzung der Schicht kontrolliert beeinflusst werden kann, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen.

- 5 Die Aufgabe wird mit jeweils den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

- 10 Gegenüber dem aus dem Stand der Technik bekannten Autoxidieren metallischer Schichten oder Halbleiterschichten, erlaubt insbesondere die gezielte Abscheidung einer substöchiometrischen Schicht im Bereich einer Sputtereinrichtung eine Steigerung der Beschichtungsrate, da die nachfolgende Plasmaeinwirkung dickere Schichten in kürzerer
- 15 Zeit zum stöchiometrischen Oxid oxidieren kann. Ferner erlaubt die erfindungsgemäße reaktive Abscheidung einer Schicht mit einer vorgegebenen Schichtdicke mit einem optischen Verlust, der einen vorgegebenen Mindestwert unterschreitet, und nachfolgender Plasmaeinwirkung eine relativ schnelle Herstellung von Schichten mit geringen optischen Verlusten. Im Vergleich zu bekannten reaktiven Sputterprozessen kommt der
- 20 Sputterprozeß weniger durch Störungen wie Überschläge oder Kathoden-Arcing zum Erliegen während gleichzeitig Schichten hoher Qualität gebildet werden.

Weitere Ausgestaltungen und Vorteile der Erfindung sind den weiteren Ansprüchen sowie unabhängig von einer Zusammenfassung in Ansprüchen der Beschreibung zu entnehmen.

- 20 Mit dem erfindungsgemässen Verfahren gelingt die Abscheidung dünner Schichten mit hoher Präzision und ausgezeichneter Güte. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform gelingt die Herstellung oxidischer, carbidischer und nitridischer Schichten mit hoher optischer Güte.

Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher beschrieben, wobei die Figuren in schematischer Darstellung zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer bevorzugten Anordnung von Substrat, Target und Plasmaquelle zur Oxidation einer Schicht,

Fig. 2 bis Fig. 5 Kennlinien bei einer Kathodenzerstäubung,

Fig. 6 ein Beispiel der optischen Transmission einer Schicht als Funktion der Wellenlänge mit und ohne rf-Plasmaquelle als Parameter der Kurvenschar und

30

25.11.2002  
bmp/rd

Fig. 7 ein Beispiel der optischen Transmission einer Schicht als Funktion der Wellenlänge mit der Substratgeschwindigkeit als Parameter der Kurvenschar.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können durch reaktives Sputtern ohne das Vakuum zu brechen Schichten mit geringen optischen Verlusten hergestellt werden, welche Reaktionskomponenten wie Sauerstoff, Kohlenstoff oder Stickstoff enthalten. Im Folgenden wird eine Oxidherstellung beschrieben; das Verfahren ist jedoch auch für Carbide oder Nitride oder Mischungen wie Oxinitride oder Carbonitride oder dergleichen geeignet, wobei auch 2 oder mehr reaktive Gase (Reaktivgase) als Reaktivkomponente gleichzeitig benutzt werden können.

- Fig. 1 zeigt eine schematische Skizze einer bevorzugten Anordnung zur Abscheidung einer Schicht gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Eine Oxidschicht 1 wird in einer Vakuumkammer 10 mit einem Restgas auf einem Substrat 2 abgeschieden. Die Vakuumkammer 10 ist in mehrere Bereiche A, B, C eingeteilt. Vorzugsweise hat jeder Bereich A, B, C eine eigene, nicht dargestellte Gaszuführung, sowie eine eigene Pumpenversorgung. Vorzugsweise ist das Vakuum kohlenwasserstofffrei und wird mit einem trockenlaufenden Pumpensatz erzeugt. Es können auch mehr als drei solcher Bereiche vorgesehen sein. Die Bereiche A, B, C sind vorzugsweise voneinander mit Blenden abgeteilt, die nur durch Schlitze miteinander verbunden sind. Damit wird eine vakuummäßige Trennung von im Folgenden noch näher beschriebenen Prozessstationen, nämlich Sputtereinrichtungen bzw. eine Plasmaquelle, in den Bereichen A, B, C erreicht. Vorzugsweise sind die Prozessstationen plasmamässig entkoppelt. Die Drücke, vorzugsweise die Partialdrücke von Gasen im Restgas (Sputtergas) der Anlage können im Wesentlichen unabhängig voneinander eingestellt werden. Vorzugsweise ist ein Inertgas wie Argon Ar und ein Reaktivgas, vorzugsweise Sauerstoff O<sub>2</sub> im Restgas enthalten.

- Im Bereich A ist als Sputtereinrichtung 3 eine erste Kathodenzerstäubungsquelle vorgesehen, vorzugsweise eine Magnetronquelle, besonders bevorzugt ein an sich bekanntes Magnetronquellensystem mit zwei nebeneinander liegenden Magnetronanordnungen, auch als Twinmag bekannt. Die Stromversorgung kann eine Versorgungseinheit mit DC-, DC-Puls- oder Mittelfrequenz- (MF) oder Hochfrequenz- (HF) oder eine kombinierte DC-HF-Versorgung sein. Typische Spannungsbereiche der Sputterkathode sind 400V bis 800V. Vorzugsweise wird eine MF-Quelle mit 40 kHz eingesetzt.

25.11.2002  
bmp/rd

In dem Bereich A wird mittels reaktivem Sputtern ein Sputtermaterial eines Targets zerstäubt, wobei sich jeweils mit einer arbeitspunktabhängigen Sputterraten ein Sputtermaterial-Sauerstoff-Verbund an Wänden der Vakuumkammer 1 und auf den Substraten 2 niederschlägt. Bevorzugte Sputtermaterialien sind Metalle und Metalllegierungen wie Al, Nb, Hf, Ta, Ti, Zr, TiNb sowie Halbleiter wie Si.

Im Bereich B ist eine Plasmaquelle 5 angeordnet, die ein Plasma erzeugt, welches angeregte Ionen und Radikale des reaktiven Bestandteils des Restgases enthält. Die reaktiven Teilchen wirken auf die abgeschiedene Schicht ein und oxidieren diese weiter. Die Plasmaquelle 5 kann beispielsweise eine DC-, HF- MF- oder DC-Puls- oder DC+HF-Mikrowellen-Plasmaquelleneinrichtung, insbesondere eine Hall End Plasmaquelle, eine Heisskathoden DC-Plasmaquelle, eine Hochfrequenz-Plasmaquelle, eine Mittelfrequenz- oder eine gepulste DC-Plasmaquelle sein. Die Energie der Plasmaquelle 5 ist einstellbar, vorzugsweise auf einen Bereich 10 eV bis 200 eV oder auch 400eV. Vorzugsweise wird eine ECWR-Plasmaquelle (Electron-Cyclotron-Wave-Resonance) eingesetzt, bei der die Energie der Plasmateilchen weitgehend unabhängig von der Plasmadichte in der Plasmaquelle 5 eingestellt werden kann.

In einem Bereich A der Vakuumkammer 10, vorzugsweise zwischen den beiden Bereichen A und B, kann eine Heizvorrichtung angeordnet sein, vorzugsweise eine Strahlungsheizung mit Quarzstrahlern. Alternativ können auch Infrarot-Strahler vorgesehen sein. Damit können die Substrate auf mehrere hundert Grad erhitzt werden, beispielsweise auf 250°C.

Ferner ist ein Bereich C vorgesehen, in dem eine zweite Kathodenzerstäubungsquelle 7 diametral gegenüberliegend angeordnet ist, welche vorzugsweise wie die erste Kathodenzerstäubungsquelle 3 ausgebildet ist. In einer weiteren Ausführungsform sind weitere Sputtereinrichtungen und/oder Plasmaquellen in der Vakuumkammer vorgesehen.

Räumlich zwischen den Bereichen A und C ist eine optische Messeinrichtung (optischer Monitor) 8 zum optischen Monitoring angeordnet, mittels der optische Eigenschaften der aufwachsenden Schichten bestimmt werden können. Bevorzugt werden, wie an sich bekannt, Transmission und/oder Reflexion einer Schicht intermittierend auf mindestens einem der Substrate zur Ermittlung von optischen Eigenschaften der aufgetragenen

25.11.2002  
bmp/rd

Schicht gemessen. Damit kann insbesondere auch die aufwachsende optische Schichtdicke überprüft werden.

Eine vorzugsweise planare Transporteinrichtung 6 bewegt ein Substrat 2 mindestens einmal nacheinander an mindestens einer Kathodenzerstäubungsquelle 3, 7 und an mindestens einer Station mit einer Plasmaquelle 5 vorbei. Dabei ist die Transporteinrichtung 6 vorzugsweise ein Substrat-Drehteller mit einer einstellbaren Geschwindigkeit von beispielsweise 1 bis 500 rpm. Die Beschleunigung auf hohe Solldrehzahlen kann in wenigen Stufen und jeweils innerhalb desselben Bereichs A, B, C erfolgen. Anstelle einer planaren Transporteinrichtung kann auch eine an sich bekannte trommelförmige Einrichtung zur Halterung und zum Transport der Substrate eingesetzt werden. In diesem Fall sind Sputtereinrichtung und Plasmaquelle einem peripheren Oberflächenbereich der Trommel zugeordnet.

Üblicherweise werden ein oder mehrere Substrate 2 auf dem Drehteller 6 befestigt. Der Übersichtlichkeit wegen ist nur eines der in der Figur 1 als Kreis gezeigten Substrate mit einem Bezugszeichen bezeichnet.

In der Vakuumkammer 10 wird das Substrat 2 von dem Drehteller 6 unter die erste Kathodenzerstäubungsquelle 3 bewegt. Dort wird durch Kathodenzerstäubung das Target zerstäubt, wobei sich aus dem Target herausgeschlagenes Material auf dem Substrat niederschlägt. Als Sputtergas wird in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ein Argon-Sauerstoffgemisch verwendet, so dass die auf dem Substrat 2 aufwachsende Schicht 1 ein Oxid ist.

Gemäß der Erfindung wird der Kathodenzerstäubungsprozess so betrieben, dass in dem Bereich A bzw. C unter Zuführung einer Reaktivkomponente gezielt eine Verbindungsschicht mit vorgegebener Zusammensetzung abgeschieden wird. Die Schicht 1 wird mit zumindest zwei Konstituenten gebildet, wobei der reaktive Bestandteil  $O_2$  einen der Konstituenten bildet und, bezogen auf den Bestandteil  $O_2$ , die Schicht 1 substöchiometrisch hergestellt. Bezogen auf eine stöchiometrische Verbindung der Konstituenten wird die Schicht 1 mit einem vorgegebenen Defizit, beispielsweise von höchstens 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 oder weniger Atomprozent des reaktiven Bestandteils  $O_2$  abgeschieden. Anschließend wird in dem Bereich B der Gehalt des Bestandteils  $O_2$  in situ mittels einer Plasmaeinwirkung auf die Schicht 1 in der Schicht 1

25.11.2002  
bmp/rd

bis zur stöchiometrischen Zusammensetzung erhöht und/oder die Struktur der Schicht modifiziert. Statt des reaktiven Bestandteils  $O_2$  kann im Bereich B auch ein anderes reaktives Gas zugeführt werden.

- 5 Besonders günstig ist es, wenn der Partialdruck des Bestandteils  $O_2$  in dem Bereich der Kathodenzerstäubungsquelle 3 während der Beschichtung des Substrats 2 auf einen im Wesentlichen konstanten Wert geregelt wird. Günstigerweise wird der Partialdruck des Bestandteils  $O_2$  über dessen Gasfluss eingestellt. Es ist auch möglich, den Sauerstoffpartialdruck über die elektrische Leistung der Kathodenzerstäubungsquelle 3
- 10 konstant einzustellen, wobei die Rate über die Targetlebensdauer in besonders hohem Masse konstant gehalten werden kann.

Weiterhin kann in dem Bereich A der Kathodenzerstäubungsquelle 3 während der Beschichtung des Substrats 2 eine Intensität einer Plasmaemissionslinie, vorzugsweise einer Emissionslinie für das Targetmaterial, des reaktiven Bestandteils oder eine Kombination beider auf einen wesentlichen Konstantwert geregelt werden. Dieses kann über den Gasfluss des Bestandteils  $O_2$  und/oder die elektrische Leistung der Kathodenzerstäubungsquelle 3 eingestellt werden.

- 20 Die Schichteigenschaften können auch variiert werden, indem die Geschwindigkeit, mit der das Substrat 2 an der Plasmaquelle 5 und/oder der Kathodenzerstäubungsquelle 3 vorbei geführt wird, verändert wird.

- 25 Eine Schicht kann erfindungsgemäß auch über mehrere Zwischenschritte durch unterstöchiometrische Abscheidung/Oxidation hergestellt werden. Weiterhin können Mehrfachschichten abgeschieden werden, bei denen durch Variation der Schichtparameter in Einzellagen wechselnde Brechungsindizes entlang einer aufwachsenden Gesamtschicht erzielt werden. Solche Mehrfachschichten können beispielsweise kontrolliert abgeschieden werden, indem die Beschichtungs- und/oder
- 30 Oxidationszeit, und/oder die Anzahl der Rotationen eingestellt wird und/oder über die optische Messeinrichtung 8 die Beschichtung anhand der optischen Eigenschaften der aufwachsenden Schicht oder Schichtfolge gesteuert wird.

- 35 Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird in dem Bereich A der Kathodenzerstäubungsquelle 3 unter Hinzufügung einer vorgegebenen Menge der

25.11.2002  
bmp/rd

Reaktivkomponente auf dem Substrat eine Schicht mit einer vorgegebenen Schichtdicke abgeschieden, die optische Verluste geringer als ein vorgegebener Mindestwert aufweist. Als optischer Verlust wird dabei in an sich bekannter Weise die im Allgemeinen wellenlängenabhängige Dämpfung einer auf eine Schicht einfallenden Lichtwelle bezeichnet. Die optischen Verluste können aus Messungen der Transmission und Reflektion ermittelt werden. Da das Streulicht durch diffuse Streuung in einem Zusammenhang mit der Rauigkeit einer Oberfläche steht, lassen sich aus den optischen Verlusten einer Schicht auch Rückschlüsse auf die Oberflächenbeschaffenheit ziehen. Bevorzugt werden erfindungsgemäß die optischen Verluste mittels der optischen Messeinrichtung (optischer Monitor) 8 bestimmt. Der optische Monitor 8 ist besonders bevorzugt als ein Einwellenlängen- oder Mehrwellenlängen Spektrometer, insbesondere als Spektralfotometer oder Ellipsometer, besonders bevorzugt Spektralellipsometer ausgebildet. Es werden nach Abscheidung einer vorgegebenen Schichtdicke, die optischen Verluste ermittelt und es folgt eine Einstellung von Schichteigenschaften in Abhängigkeit von einem Signal des optischen Monitors 8. Bei Einsatz eines Spektralfotometers können in einfacher Weise Transmission, Absorption und Reflektion in einem vorgegebenen Spektralbereich und als Funktion der Schichtdicke ermittelt werden.

Im Folgenden wird für eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens die Prozessführung zur Herstellung einer Schicht durch reaktives Sputtern mit einer anschließenden Modifikation der aufgetragenen Schicht beschrieben. Andere Prozessführungen sind ebenfalls von der Erfindung umfasst. Als Sputtereinrichtung wird ein Magnetronquellensystem mit zwei nebeneinander liegenden Magnetronanordnungen mit zwei Niob-Targets eingesetzt. Die Targets werden in einem MF - Bereich, beispielsweise mit einer Frequenz von 40 kHz alternierend betrieben. Beiden Targets sind mit Shuttern zugeordnet, mit denen die Sputtereinrichtung gegenüber den Substraten isoliert werden kann. Die Plasmaquelle, welcher ebenfalls ein Shutter zugeordnet ist, wird in einem Radiofrequenzbereich angesteuert.

In einem ersten Schritt wird die Sputtereinrichtung in einen Arbeitspunkt eingestellt, wobei zur Stabilisierung des Prozesses die Shutter geschlossen sind. Es erfolgt ein Einlass von einem Inertgas und einer Reaktivkomponente (beispielsweise Argon und Sauerstoff) in den Bereich der Sputtereinrichtung. Ferner folgt ein Einlass von einem Inertgas und einer Reaktivkomponente in den Bereich der Plasmaquelle. Der Substratträger, beispielsweise ein planarer Drehteller, wird auf eine Sollgeschwindigkeit beschleunigt. In einem weiteren

25.11.2002  
bmp/rd

Schritt wird das Plasma der Plasmaquelle gezündet. Es erfolgt ferner eine Zündung des Sputterplasmas der Kathodenzerstäubungseinrichtung, die auf eine vorgegebene Sollleistung gebracht wird. Anschließend wird eine Partialdruckregelung im Bereich der Sputtereinrichtung aktiviert. Vorzugsweise wird ein vorgegebener Partialdrucksollwert über eine Kathodenleistung stabilisiert.

In einem zweiten Schritt wird mit der Beschichtung der Substrate begonnen. Hierzu werden die Shutter geöffnet. Dabei hat sich gezeigt, dass nur eine geringe Änderung der im Arbeitspunkt eingestellten Regelungsparameter durch die Öffnung der Shutter notwendig ist. Eine gewünschte Schichtdicke kann über eine Beschichtungszeit bzw. eine Anzahl von Rotationen kontrolliert werden. Besonders bevorzugt ist eine in situ erfolgende optische Schichtdickenmessung durch den optischen Monitor 8.

Erfindungsgemäß erfolgt die reaktive Abscheidung einer Schicht in einem Arbeitspunkt einer Kennlinie oder eines Kennfeldes, der Sputtermaterial und Reaktivkomponentenmaterial abhängig zur Minimierung eines optischen Verlustes der abgeschiedenen Schicht oder der durch Plasmaeinwirkung modifizierten Schicht gewählt wird. Im Folgenden werden einige bevorzugte Kennlinien dargestellt.

In Fig. 2 ist eine Kennlinie der Abhängigkeit eines Reaktivgasflusses von einem Partialdruck der Reaktivkomponente bei einem Kathodenzerstäubungsprozess in einem Beispiel mit einem Aluminiumtarget und mit Sauerstoff als reaktivem Bestandteil und konstanter Leistung der Sputtereinrichtung (Sputterleistung) angegeben. Bei kleinen Werten des Partialdrucks steigt der Sauerstofffluss zuerst steil an und fällt nach einem Scheitelpunkt S ab, um bei höherem Partialdruck nach einem Minimum wieder anzusteigen. Bei sehr niedrigem Sauerstoffpartialdruck stellt sich ein Zustand mit einer weitgehend metallischen Targetoberfläche ein, wobei metallische Schichten auf dem Substrat deponiert werden. Wird der Sauerstoffpartialdruck über einen Wert, der dem Scheitelpunkt entspricht, erhöht, folgt bei flußgeregeltem Prozess ein Übergang zu einem Oxid- oder Compound-mode, bei der die Targetoberfläche vollständig mit Reaktionsprodukten belegt ist und stöchiometrische Schichten mit ungünstigen Schichteigenschaften auf dem Substrat aufwachsen. Der mit O bezeichnete Pfeil gibt den Übergang zu dem Oxid- oder Compound-mode an. Die gestrichelte Kurve in Figur 2 beschreibt die zugehörige Abscheidungsrate. Es ist ersichtlich, dass diese bei einem niedrigen Reaktivgaspartialdruck maximal ist und bei wachsendem Reaktivgaspartialdruck

25.11.2002  
bmp/rd

abfällt, bis sie in einen Sättigungsbereich parallel zur Abszisse kommt. Wird ausgehend von dem Oxid-mode der Sauerstoffpartialdruck vermindert, erfolgt bei flußgeregeltem Prozess ein Übergang in einen metallischen Mode bereits bei einem höheren Sauerstoffpartialdruck, so dass die Kennlinie eine Hysterese aufweist. Der Bereich zwischen dem Scheitelpunkt und dem Minimum der Kennlinie ist im allgemeinen nicht ohne aufwendige Regulationsmaßnahmen zugänglich, ermöglicht jedoch die Abscheidung von substöchiometrischen Schichten mit einer hohen Abscheidungsrate. Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise in einem vorgegebenen Bereich der Kennlinie mit ansteigendem oder abfallendem Gasfluss nahe des Scheitelpunktes S durchgeführt, da hier relativ hohe Sputterraten erreicht werden können. Besonders bevorzugt ist der Bereich nahe dem Scheitelpunkt S der Kennlinie, mit einem Gasfluss des ersten Bestandteils  $O_2$  welcher bei der Abscheidung der Schicht 1 höchstens um 50%, unterhalb des Maximalwerts im Scheitelpunkt S, besonders bevorzugt höchstens 20% bis 10% unterhalb des Maximalwerts im Scheitelpunkt S liegt. In diesem Bereich ist eine hohe Abscheidungsrate einer substöchiometrischen Schicht erreichbar, die anschließend einer Plasmaeinwirkung ausgesetzt wird. Materialabhängig, z. B. bei Ti, Nb, TiNb kann erfindungsgemäß in dem Übergangsbereich rechts des Scheitelpunktes S gearbeitet werden, während für andere Materialien, z.B. Al, Si der Bereich links des Scheitelpunktes S bevorzugt wird.

In Fig. 3 ist analog einer Kennlinie bei einem konstant gehaltenen Reaktivgasfluss, bei der ein Sollwert eines Reaktivgaspartialdrucks mit Hilfe der Sputterleistung eingestellt wird. Der substöchiometrische Bereich liegt hier links des mit O bezeichneten Pfeils. Bei diesem Regelungsverfahren wird erfindungsgemäß bevorzugt, jedoch nicht ausschließlich in einem Bereich um das Minimum der Kennlinie gesputtert.

In Fig. 4 ist eine weitere Kennlinie dargestellt, bei der bei konstanter Sputterleistung ein Sollwert einer Sputterkathodenspannung mit Hilfe eines Reaktivgasflusses und in dem Bereich rechts des mit O bezeichneten Übergangs zu einer substöchiometrischen Verbindung eingestellt wird. Bevorzugt ist hier ein Bereich um das Maximum S des Übergangs.

Ein konstanter Reaktivgasfluss wird bei der in Fig. 5 dargestellten Kennlinie verwendet, wobei ein Sollwert eines Quotienten aus einer Sputterrate und einem Reaktivgaspartialdruck mit Hilfe der elektrischen Leistung der Sputtereinrichtung auf

25.11.2002  
bmp/rd

einen vorgegebenen Sollwert geregelt wird. Die durchgezogene Kurve bezeichnet hierbei die Kennlinie bei Sauerstoff als Reaktivgas, während die gestrichelte Kurve die Kennlinie bei Stickstoff als Reaktivgas bezeichnet. Die mit O1 bzw. O2 bezeichneten Pfeile geben den Übergang von einem substöchiometrischen rechts des Übergangs zu einem stöchiometrischen Regime links des Übergangs jeweils für Sauerstoff bzw. Stickstoff als Reaktivgas an. Ersichtlich ist, dass die Position dieses Übergangs von dem verwendeten Reaktivgas abhängig ist. Ferner ist das im Fall von Sauerstoff rechts des erwähnten Übergangs bei O1 liegende Minimum in der entsprechenden Kennlinie für Stickstoff verschwunden; dem entspricht ein Fehlen einer Hysterese. Der Quotient aus Sputterrate und Reaktivgaspartialdruck kann aus einem Quotienten aus einer Material- und Reaktivgaspartialdruck-Plasmalinienintensität bestimmt werden. Mit Material ist hierbei das Material der Sputterkathode gemeint; im vorliegenden Fall Silizium. Eine derartige Zweiliniemessung hat den Vorteil, dass das Ergebnis relativ unabhängig von einer Verschmutzung eines Lichtleitereintrittsfensters ist, durch das die entsprechenden Emissionslinien gemessen werden.

Typische Werte für die vorliegende Einrichtung sind für den Argonfluss 40 sccm/min und für den Sauerstofffluss 30 sccm/min im Bereich der Sputtereinrichtung. Bevorzugt wird ein Sauerstoffpartialdruck aus dem Signal einer im Bereich der Sputtereinrichtung angeordneten Lambdasonde bestimmt. Die typische Leistung einer derartigen Dual Magnetronkathoden Station bei dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt im Bereich von 4 KW. Im Bereich der Plasmaquelle ist der typische Sauerstofffluss in einem Bereich von 20 sccm/min, während der Argonfluss in einem Bereich von 2 sccm/min liegt. Die Leistung bei einem RF-Betrieb liegt in einem Bereich um 1 KW.

Zur Regelung der Sputtereinrichtung 3, 7 und der Plasmaquelle 5 sowie der Bewegung der Substrate ist eine nicht zeichnerisch dargestellte Steuereinheit vorgesehen. Die Regelung erfolgt in einem Parameterraum, in dem Kennlinien bzw. Kennfelder aufgespannt sind, wie bereits genauer erläutert wurde. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Signal des optischen Monitors 8 herangezogen wird, um die Betriebsparameter zur Optimierung der optischen Qualität, insbesondere zur Minimierung der optischen Verluste der abgeschliffenen Schicht einzustellen. Dies erfolgt vorzugsweise online. Ebenso ist eine derartige Regelung schichtweise oder bei einem Übergang von einer Schicht zur nächsten vorgesehen. Besonders bevorzugt ist die Verwendung des optischen Signals für die Durchführung

25.11.2002  
bmp/rd

einer Führungsregelung zur Berücksichtigung von Langzeitdriften in den Schichteigenschaften, wie Transmission, Reflektion, und/oder optischer Verluste. Ferner wird die Funktion der die Sputtereinrichtung 3,7 und die Plasmaquelle 5 umfassenden Gesamtvorrichtung in Hinblick auf optische Eigenschaften der abgeschiedenen und modifizierten Schicht oder in Hinblick auf die Geschwindigkeit der Schichtherstellung optimiert. Hierzu werden beispielsweise mittels der Steuereinrichtung entsprechende Arbeitspunkte auf einer Kennlinie bei anschließender Plasmaeinwirkung gewählt und ein Optimierungswert bestimmt.

- 10    Optisches Monitoring kann unmittelbar nach jedem Sputtern durch die Sputtereinrichtung 3, 7 und/oder nach einer Plasmaeinwirkung durch die Plasmaquelle 5 auf mindestens einem Substrat erfolgen.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel der optischen Transmission einer mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Schicht als Funktion der Wellenlänge (obere Kurve  $S_1$ ) im Vergleich mit einer Schicht, welche nach der unterstöchiometrischen Abscheidung nicht dem Sauerstoffplasma aus der Plasmaquelle 5 ausgesetzt wurde (untere Kurve  $S_2$ ). Die Beschichtungsparameter der beiden Schichten sind bis auf die Oxidation im Bereich der Plasmaquelle 5 gleich. Die unterstöchiometrische Schicht zeigt eine sehr geringe Transmission dafür aber sehr hohe Verluste, so dass diese als Antireflexschicht oder Filter oder dergl. unbrauchbar ist. Offenbar ist zu erkennen, dass die Oxidation durch die Plasmaeinwirkung eine sehr effektive Verbesserung der Schichteigenschaften ermöglicht (obere Kurve  $S_1$ ).

Fig. 7 zeigt ein Beispiel einer optischen Transmission einer Schicht als Funktion der Wellenlänge mit der Substratgeschwindigkeit als Parameter der Kurvenschar. Bei einer hohen Geschwindigkeit von z.B. 180 oder 120 U/min ist die optische Transmission der Schicht höher (obere Kurve) als nur mit halber Geschwindigkeit von z.B. 60 U/min (untere Kurve).

Erfindungsgemäß ergibt sich eine ausgezeichnete optische Qualität der Schichten, die zunächst substöchiometrisch mit einem definierten Sauerstoffmangel hergestellt und anschließend durch Plasmaeinwirkung zum stöchiometrischen Oxid aufoxidiert werden. Pro Umlauf wird typischerweise 0,2 bis 0,4 nm abgeschieden. Die abgeschiedene Schicht ist vorzugsweise röntgenamorph oder nanokristallin mit einer glatten Oberfläche, weist jedoch gleichzeitig eine dichte Struktur frei von Hohlräumen sogenannten voids auf, so

25.11.2002  
bmp/rd

dass eine Vermeidung von Wassereinbau aus der Atmosphäre erreicht wird, was ansonsten zu unerwünschten Brechwertänderungen führen würde. Die verbesserte Oberflächenstruktur ist wesentlich auf die Plasmaeinwirkung zurückzuführen, die insofern eine im Stand der Technik übliche Beaufschlagung des Substrats mit einer Bias -  
s Spannung ersetzen kann.

25.11.2002  
bmp/rd

**PATENTANSPRÜCHE**

5

1. Verfahren zur Herstellung einer Schicht (1) auf einem bewegbaren Substrat (2) in einer Vakuumkammer (10) mit einem Restgas mittels einer Sputtereinrichtung (3, 7), wobei die Schicht (1) aus zumindest zwei Konstituenten gebildet wird und zumindest ein erster Konstituent ein Sputtermaterial der Sputtereinrichtung (3, 7) und zumindest ein zweiter Konstituent eine Reaktivkomponente des Restgases ist, dadurch gekennzeichnet, dass folgende Schritte vorgesehen sind:

10

5

- Unter Zuführung einer Reaktivkomponente reaktive Abscheidung einer Schicht (1) mit einem vorgegebenen stöchiometrischen Defizit des reaktiven Bestandteils in einem räumlichen Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7) auf dem Substrat (2),

20

- Bewegung des Substrats (2) mit der abgeschiedenen Schicht (1) in einen räumlichen Bereich einer Plasmaquelle (5), die in einem vorgegebenen Abstand von der Sputtereinrichtung (3, 7) in der Vakuumkammer (10) angeordnet ist,

25

- Modifizierung der Struktur und/oder Stöchiometrie der Schicht (1) durch Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5), vorzugsweise unter Zuführung einer vorgegebenen Menge der Reaktivkomponente, zur Verringerung eines optischen Verlustes der Schicht (1).

30

2. Verfahren zur Herstellung einer Schicht (1) auf einem bewegbaren Substrat (2) in einer Vakuumkammer (10) mit einem Restgas mittels einer Sputtereinrichtung (3, 7), wobei die Schicht (1) aus zumindest zwei Konstituenten gebildet wird und zumindest ein erster Konstituent ein Sputtermaterial der Sputtereinrichtung (3, 7) und zumindest ein zweiter Konstituent eine Reaktivkomponente des Restgases ist, dadurch gekennzeichnet, dass folgende Schritte vorgesehen sind:

35

25.11.2002  
bmp/rd

- Unter Zuführung einer Reaktivkomponente, reaktive Abscheidung einer Schicht (1) mit einer vorgegebenen Schichtdicke und einem optischen Verlust, der einen vorgegebenen Mindestwert unterschreitet, in einem räumlichen Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7) auf dem Substrat (2).
- Bewegung des Substrats (2) mit der abgeschiedenen Schicht (1) in einen räumlichen Bereich einer Plasmaquelle (5), die in einem vorgegebenen Abstand von der Sputtereinrichtung (3, 7) in der Vakuumkammer (10) angeordnet ist,
- Modifizierung der Struktur und/oder Stöchiometrie der Schicht (1) durch Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5), vorzugsweise unter Zuführung einer vorgegebenen Menge der Reaktivkomponente, zur Verringerung eines optischen Verlustes der Schicht (1).
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sputtereinrichtung (3, 7) in einem Sputtermaterial- und Reaktivgasmaterial-abhängigen Arbeitspunkt einer Kennlinie oder eines Kennfeldes betrieben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein optisches Monitoring nach Abscheidung einer vorgegebenen Schichtdicke zur Einstellung von optischen Eigenschaften der Schicht (1) vorgesehen ist.
5. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein optisches Monitoring der Schicht (1) nach Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5) zur Einstellung von optischen Eigenschaften der Schicht (1) vorgesehen ist.
6. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein optisches Monitoring der Schicht (1) nach Abscheidung einer vorgegebenen Schichtdicke und nach Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5) zur Einstellung von optischen Eigenschaften der Schicht (1) vorgesehen ist.
7. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als optisches Monitoring eine Ermittlung von Transmission,

25.11.2002  
bmp/rd

Reflektion und /oder Verlusten bei einer oder mehreren Wellenlängen der Schicht (1) vorgesehen ist.

- 5 8. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 4 bis 6 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Abhängigkeit von einem Monitoringsignal einer optischen Monitoreinrichtung (8) eine Regelung der Sputtereinrichtung (3, 7) erfolgt.
- 10 9. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Abhängigkeit von einem Monitoringsignal einer optischen Monitoreinrichtung (8) eine Regelung der Plasmaquelle (5) erfolgt.
- 5 10. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Monitoring in Abhängigkeit von vorgegebenen Zeitpunkten und/oder von vorgegebenen Schichtdicken erfolgt.
11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gehalt der Reaktivkomponente in der Schicht (1) bis zur stöchiometrischen Zusammensetzung erhöht wird.
- 20 12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (1) bezogen auf die Reaktivkomponente des Restgases mit einem vorgegebenen Defizit zwischen 0 und 100 % der Reaktivkomponente abgeschieden wird.
- 25 13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Partialdruck der Reaktivkomponente über einen Gasfluss der Reaktivkomponente und/oder über eine elektrische Leistung der Sputtereinrichtung (3, 7) geregelt wird.
- 30 14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Sputterkathodenspannung der Sputtereinrichtung (3, 7) ~~in Abhängigkeit von einem~~ über einen Gasfluss der Reaktivkomponente geregelt wird.

25.11.2002  
bmp/rd

15. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Quotient einer Sputterraten zu einem Partialdruck einer Reaktivkomponente über eine Sputterleistung geregelt wird.
- 5 16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Quotient aus dem Quotienten einer ersten Linienintensität und einer zweiten Linienintensität bestimmt wird, wobei die erste Linienintensität ein Maß für eine Sputterraten und die zweite Linienintensität für einen Partialdruck der Reaktivkomponente ist.
- 10 17. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reaktivkomponente Sauerstoff, Kohlenstoff und/oder Stickstoff ist.
18. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Partialdrücke der Reaktivkomponente im Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7) und im Bereich der Plasmaquelle (5) im Wesentlichen unabhängig voneinander eingestellt werden.
19. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Plasmaeinwirkung mit einem Plasma einer Plasmaquelle (5) erfolgt, welches zumindest die Reaktivkomponente im Plasma enthält.
- 20 20. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schicht (1) von der substöchiometrischen Zusammensetzung zu einer stöchiometrischen Verbindung modifiziert wird.
- 25 21. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit an der Plasmaquelle (5) und/oder der Sputtereinrichtung (3, 7) vorbeigeführt wird.
- 30 22. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) an der Plasmaquelle (5) und/oder der Sputtereinrichtung (3, 7) mit einer variablen Geschwindigkeit vorbei bewegt wird.
- 35

25.11.2002  
bmp/rd

23. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) mehrfach an der Sputtereinrichtung (3, 7) und/oder an der Plasmaquelle (5) vorbeibewegt wird.

24. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gasfluss der Reaktivkomponente in Abhängigkeit von optischen Eigenschaften der Schicht (1) gesteuert oder geregelt wird.

25. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) vor, während oder nach der Modifizierung mit Wärme beaufschlagt wird, vorzugsweise mittels einer Strahlungsheizung.

26. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gasfluss der Reaktivkomponente in Abhängigkeit von einer abgeschiedenen Schichtdicke und/oder einer Zeitdauer der Modifizierung und/oder einer Anzahl der Vorbeiführungen an der Plasmaquelle (5) gesteuert oder geregelt wird.

27. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sputtereinrichtung (3, 7) eine, vorzugsweise Magnetron-unterstützte Kathodenzerstäubungsquelle vorgesehen ist.

28. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sputtereinrichtung (3, 7) mit einem elektrischen Wechselfeld betrieben wird.

29. Vorrichtung zur Herstellung einer Schicht (1) auf einem Substrat (2) mittels einer Sputtereinrichtung (3, 7) in einer Vakuumkammer (10) mit einem Restgas, wobei die Schicht (1) aus zumindest zwei Konstituenten gebildet wird und zumindest ein erster Konstituent ein Sputtermaterial der Sputtereinrichtung (3, 7) und zumindest ein zweiter Konstituent eine Reaktivkomponente des Restgases ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

Mittel zur reaktiven Abscheidung einer Schicht (1) auf dem Substrat (2)  
unter Zuführung einer Reaktivkomponente

25.11.2002  
bmp/rd

mit einem vorgegebenen stöchiometrischen Defizit des reaktiven Bestandteils in einem räumlichen Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7).

- 5 - Mittel zur Bewegung des Substrats (2) mit der abgeschiedenen Schicht (1) in einem räumlichen Bereich einer Plasmaquelle (5), die in einem vorgegebenen Abstand von der Sputtereinrichtung (3, 7) in der Vakuumkammer (10) angeordnet ist,
- 10 - Mittel zur Modifizierung der Struktur und/oder Stöchiometrie der Schicht (1) durch Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5), vorzugsweise unter Zuführung einer vorgegebenen Menge der Reaktivkomponente, zur Verringerung eines optischen Verlustes der Schicht (1)
- 15 vorgesehen sind:
30. Vorrichtung zur Herstellung einer Schicht (1) auf einem Substrat (2) mittels einer Sputtereinrichtung (3, 7) in einer Vakuumkammer (10) mit einem Restgas, wobei die Schicht (1) aus zumindest zwei Konstituenten gebildet wird und zumindest ein erster Konstituent ein Sputtermaterial der Sputtereinrichtung (3, 7) und zumindest ein zweiter Konstituent eine Reaktivkomponente des Restgases ist, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20
- 25 - Mittel zur reaktiven Abscheidung einer Schicht (1) auf dem Substrat (2) in einem räumlichen Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7) unter Zuführung einer Reaktivkomponente mit einem bei einer vorgegebenen Schichtdicke einen Mindestwert unterschreitenden optischen Verlust,
- 30 - Mittel zur Bewegung des Substrats (2) mit der abgeschiedenen Schicht (1) in einen räumlichen Bereich einer Plasmaquelle (5), die in einem vorgegebenen Abstand von der Sputtereinrichtung (3, 7) in der Vakuumkammer angeordnet ist,
- 35 - Mittel zur Modifizierung der Struktur und/oder Stöchiometrie der Schicht (1) durch Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5), vorzugsweise unter

25.11.2002  
bmp/rd

Zuführung einer vorgegebenen Menge der Reaktivkomponente, zur Verringerung eines optischen Verlustes der Schicht (1)

vorgesehen sind.

- 5
31. Vorrichtung nach Anspruch 29 oder 30, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7) und in einem Bereich der Plasmaquelle (5) jeweils eine Gaszuführung und/oder eine Pumpeneinheit angeordnet und die Bereiche vorzugsweise durch Blenden getrennt sind, welche Durchlässe für zumindest ein Substrat (2) aufweisen.
- 10
32. Vorrichtung nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) auf einem Drehteller (6) beabstandet zur Sputtereinrichtung (3, 7) und zur Plasmaquelle (5) angeordnet ist.
- 15
33. Vorrichtung nach Anspruch 31 oder 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Substrate (2, 2') auf dem Drehteller (6) angeordnet sind.
- 20
34. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 33, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sputtereinrichtung (3, 7) und die Plasmaquelle (5) korrespondierend zu dem Drehteller (6) in etwa in Umfangsrichtung des Drehtellers (6) angeordnet sind.
- 25
35. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Sputtereinrichtungen (3, 7) vorzugsweise sich diametral gegenüberliegend angeordnet sind.
- 30
36. Vorrichtung nach Anspruch 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Plasmaquellen (5) räumlich zwischen den Sputtereinrichtungen (3, 7) angeordnet ist.
- 35
37. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 36, **dadurch gekennzeichnet**, dass räumlich zwischen den Sputtereinrichtungen (3, 7) eine optische Messeinrichtung zur Messung einer optischen Transmission, Reflexion und/oder Verluste einer auf dem Substrat (2) abgeschiedenen Schicht (1) angeordnet ist.

25.11.2002  
bmp/rd

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass räumlich zwischen den Sputtereinrichtungen (3, 7) und der Plasmaquelle (5) mindestens eine optische Messeinrichtung angeordnet ist.
- 5 39. Vorrichtung nach Anspruch 37 oder 38, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Messeinrichtung ein Einwellenlängen- oder Mehrwellenlängen- Photometer und/oder Ellipsometer ist.
- 10 40. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest in einem Bereich der Vakuumkammer (10) eine Heizanordnung zum Erhitzen des Substrats vorgesehen sind.
- 5 41. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass als Sputtereinrichtung (3, 7) eine Magnetron-unterstützte Kathodenzerstäubungsquelle vorzugsweise mit zwei nebeneinander liegenden Magnetronanordnungen vorgesehen ist.
- 20 42. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Sputtereinrichtung (3, 7) mit einem elektrischen Wechselfeld, vorzugsweise in einem eine Hochfrequenz-, einem Mittelfrequenz- oder einem gepulsten DC-Bereich betrieben wird.
- 25 43. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass die Plasmaquelle (5) eine ECWR-Quelle, eine Hall End Plasmaquelle, eine Heisskathoden DC Plasmaquelle, eine Hochfrequenz-Plasmaquelle, eine Mittelfrequenz- oder eine gepulste DC-Plasmaquelle ist.

25.11.2002  
bmp/rd

### Zusammenfassung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Schicht (1) auf einem bewegbaren Substrat (2) in einer Vakuumkammer mittels einer Sputtereinrichtung (3, 7), wobei die Schicht (1) aus zumindest zwei Konstituenten gebildet wird, von denen zumindest ein erster Konstituent ein Sputtermaterial der Sputtereinrichtung (3, 7) und ein zweiter Konstituent ein Reaktivkomponente eines Restgases in der Vakuumkammer ist. Es sind folgende Schritte vorgesehen:

- Unter Zuführung einer Reaktivkomponente reaktive Abscheidung einer Schicht (1) mit einem vorgegebenen stöchiometrischen Defizit des reaktiven Bestandteils in einem räumlichen Bereich der Sputtereinrichtung (3) auf dem Substrat (2) oder reaktive Abscheidung einer Schicht (1) mit einer vorgegebenen Schichtdicke und einem optischen Verlust, der einen vorgegebenen Mindestwert unterschreitet, in einem räumlichen Bereich der Sputtereinrichtung (3, 7) auf dem Substrat (2).
- Bewegung des Substrats (2) mit der abgeschiedenen Schicht (1) in einem räumlichen Bereich einer Plasmaquelle (5), die in einem vorgegebenen Abstand von der Sputtereinrichtung (3, 7) in der Vakuumkammer (10) angeordnet ist,
- Modifizierung der Struktur und/oder Stöchiometrie der Schicht (1) durch Plasmaeinwirkung der Plasmaquelle (5), vorzugsweise unter Zuführung einer vorgegebenen Menge der Reaktivkomponente zur Verringerung eines optischen Verlustes der Schicht (1).

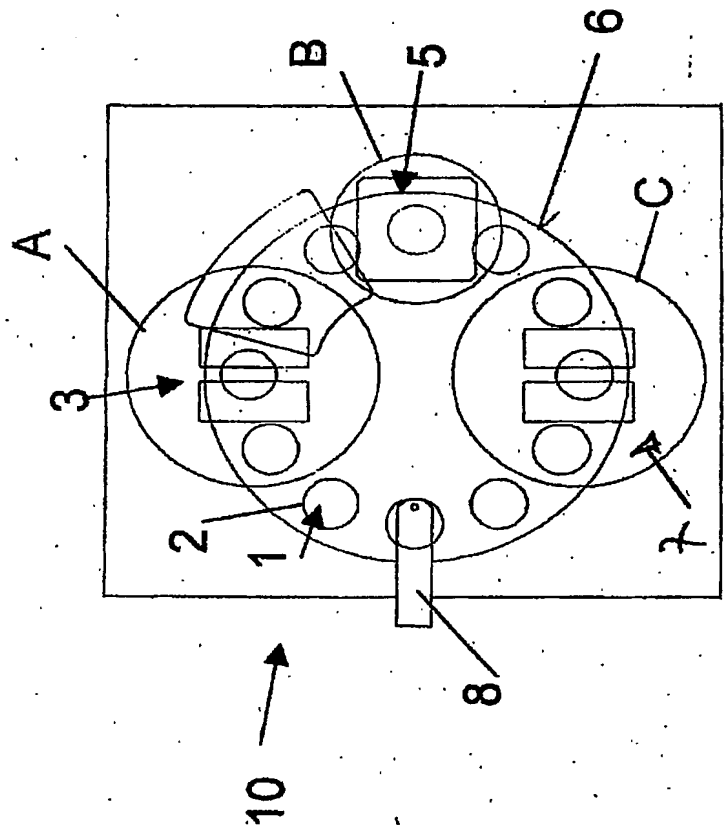
30

Ferner werden Vorrichtungen zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens angegeben.

(Fig. 1)

25.11.2002  
bmp/rd

Fig 1



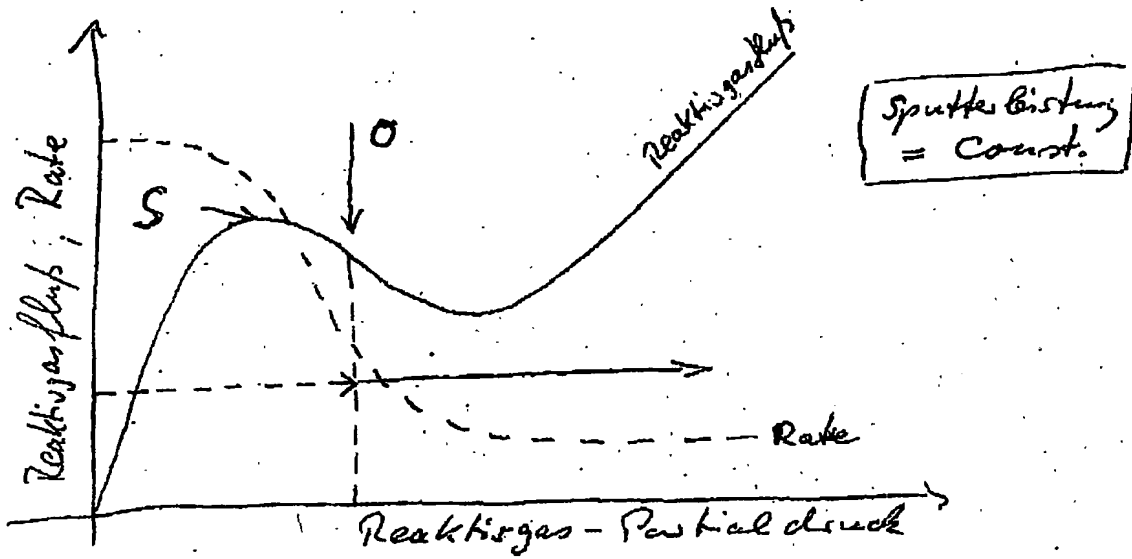


Fig 2

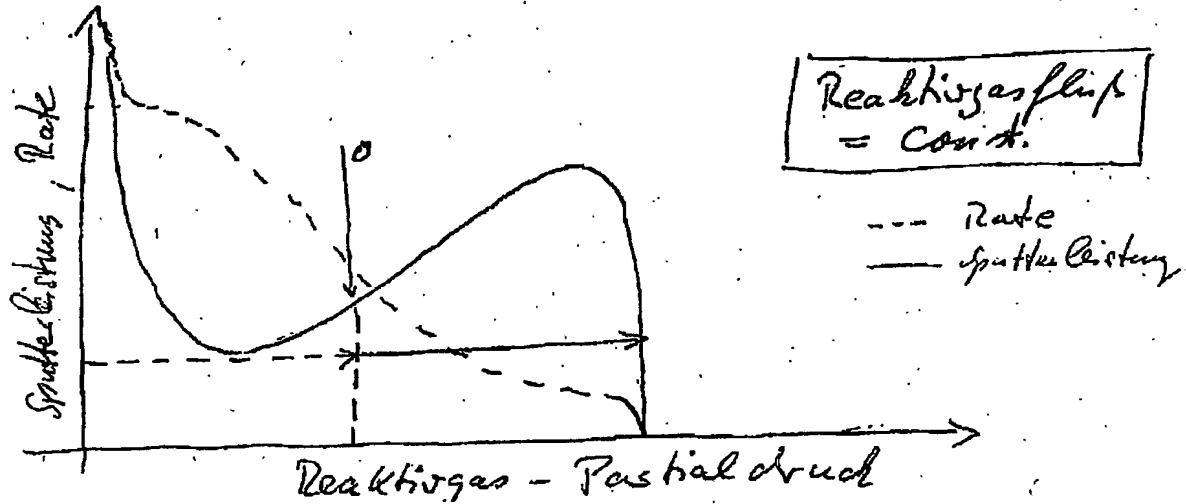


Fig 3

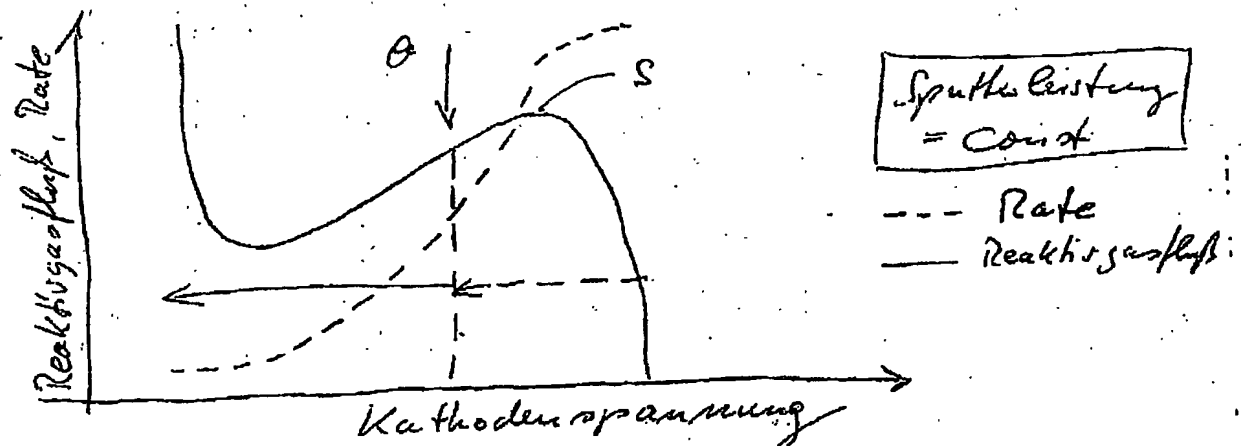


Fig 4

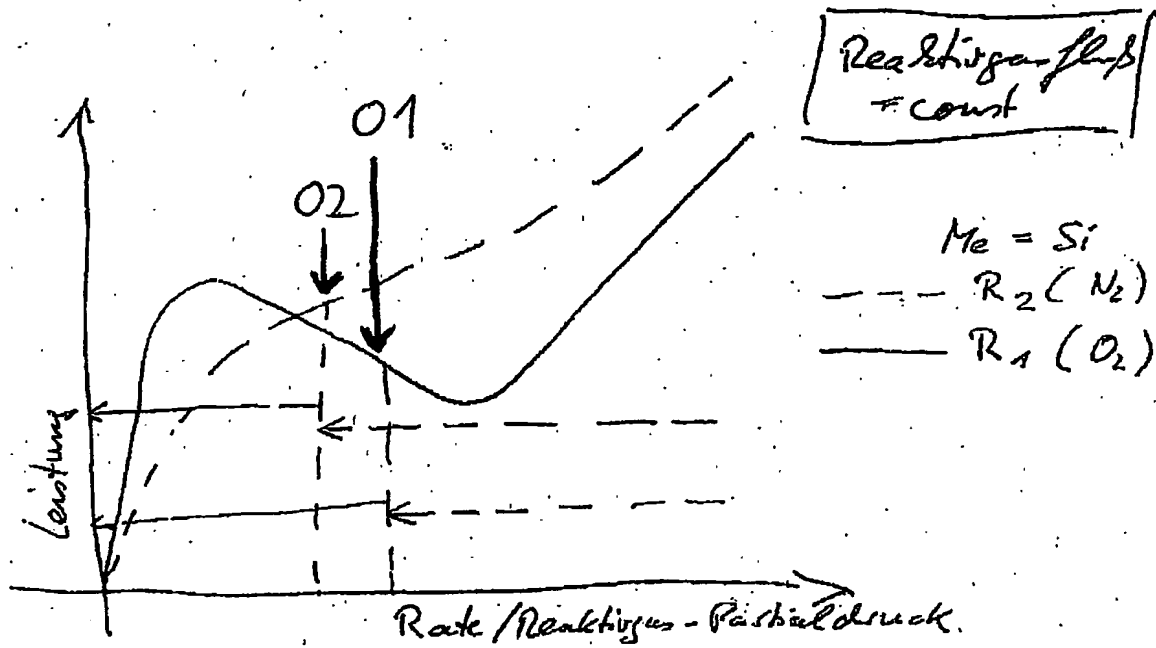


Fig 5

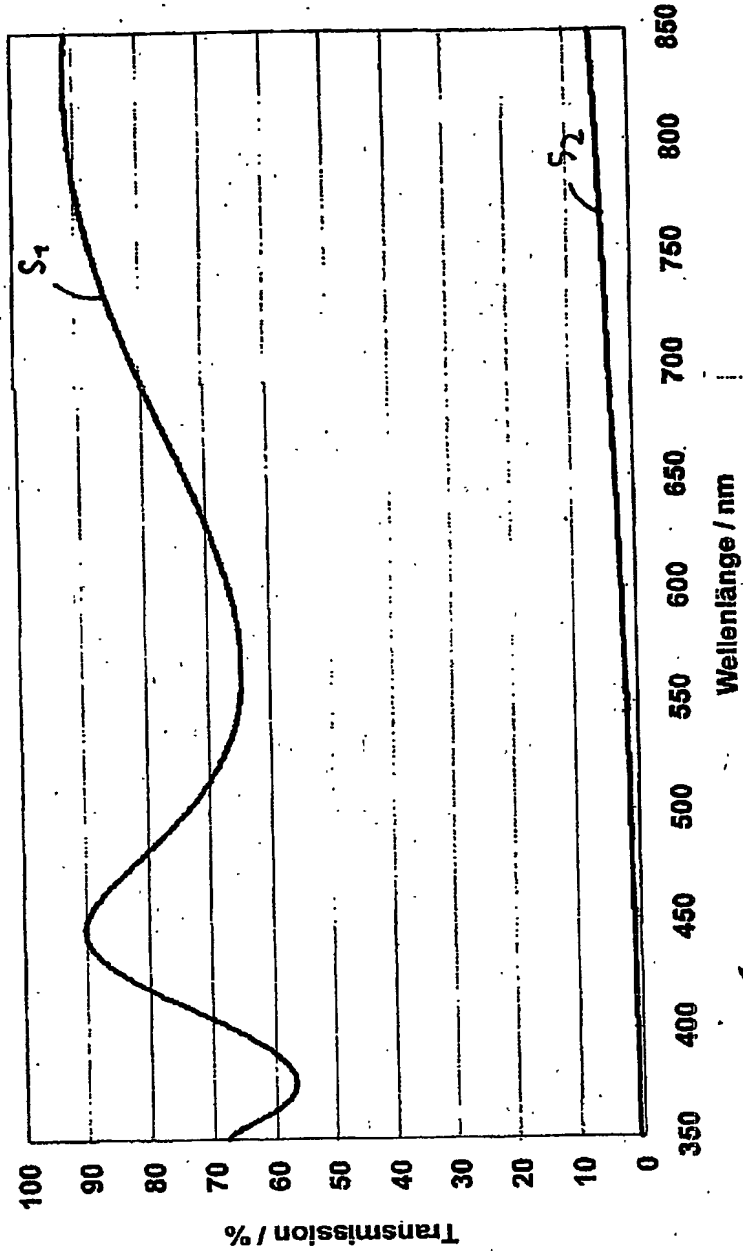
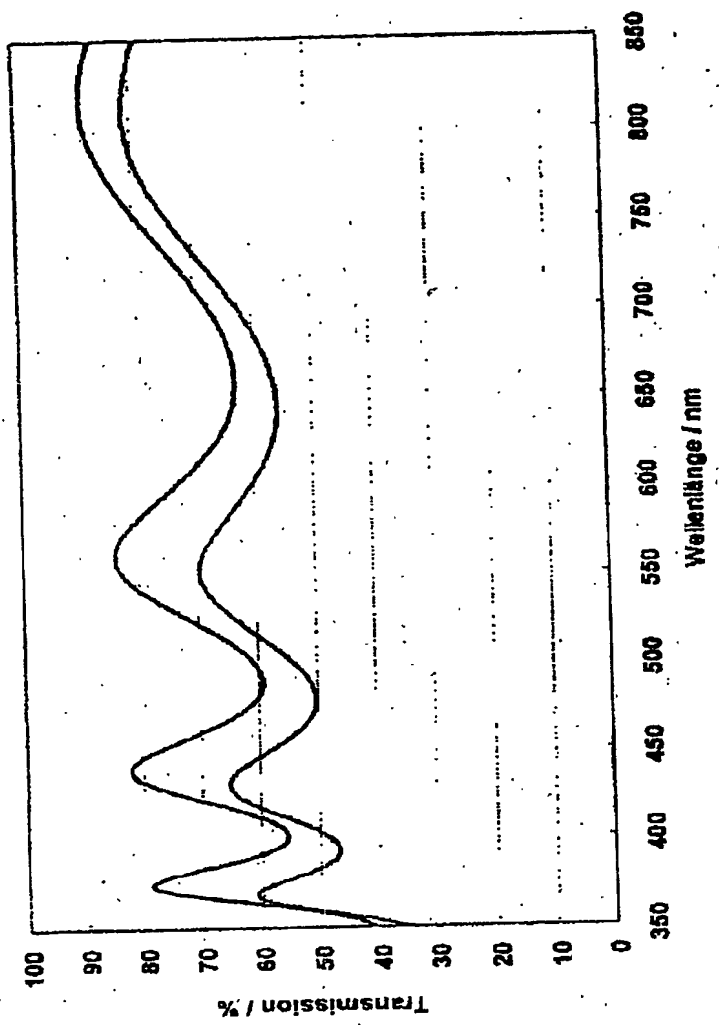


Fig. 8

Fig. 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**